

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-220443

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月10日

(51) Int.Cl.⁴

識別記号

F I

H 0 4 B 10/152
10/142
10/04
10/08
10/00

H 0 4 B 9/00

L

B

H 0 4 L 27/22

Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-19984

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月30日

(71) 出願人 000004228

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 西沢 秀樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 山田 鉄朗

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

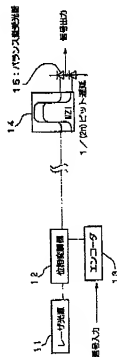
(74) 代理人 井理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 光送受信方式

(57) 【要約】

【課題】 マツハツエンダー干渉計の周波数特性による制限を緩和して差動位相変調—直接検波 (DPSK-D) の利点を活用できる光送受信方式を提供する。

【解決手段】 差動符号化された位相変調光を入力して復調するコヒーレント光通信用の送受信方式において、NRZ符号の入力信号を、信号0の場合にはスペースに、信号1の場合には1ビットを2n等分 (nは自然数) し、等分したはじめの2スロットのうち片方のスロットをマークに、もう一方のスロットをスペースに、残りの2n-2のスロットも同様の順序でマークとスペースが順番に繰り返すように変換することで符号化するエンコーダ13と、このエンコーダ13によって符号化された信号に応じて位相変調された位相変調光を2分岐し、一方の信号光を1/(2n) ビット遅延させ、両信号を干渉させて強度変調光に変換するマツハツエンダー干渉計14とを備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 差動符号化された位相変調光を入力して復調するコヒーレント光通信用の送受信方式において、NRZ-Z符号の入力信号を、信号0の場合にはスペースに、信号1の場合には1ビットを2n等分（nは自然数）し、等分したはじめの2スロットのうち片方のスロットをマークに、もう一方のスロットをスペースに、残りの2n-2のスロットも同様の順序でマークとスペースが順番に繰り返すように変換することで符号化するエンコーダと、

このエンコーダによって符号化された信号に応じて位相変調された位相変調光を2分岐し、一方の信号光を1/(2n)ビット遅延させ、両信号を干渉させて強度変調光に変換するマッハツェンダー干渉計とを備えたことを特徴とするコヒーレント光通信用の光送受信方式。

【請求項2】 請求項1に記載の光送受信方式において、

n=1の場合に、

前記エンコーダが、NRZ-Z符号の入力信号を、RZ符号に変換するものであり、

前記マッハツェンダー干渉計が、前記エンコーダによってRZ符号化された信号に応じて位相変調された位相変調光を2分岐し、一方の信号光を1/2ビット遅延させ、両信号を干渉させて強度変調光に変換するものであることを特徴とする請求項1に記載のコヒーレント光通信用の光送受信方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はコヒーレント光通信の分野に係り、特に差動位相変調直接検波（以下、DPSK-DD）方式を用いて好適なコヒーレント光通信用の送受信方式に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 DPSK-DD方式は、強度変調直接検波（IM-DD）方式に比べて受光感度がよいため、長距離光伝送に適した光通信方式として実用化が期待されている。また、バランス型受光器を用いた差分受信方式であることから、信号を識別するしきい値を入力光の強度に関わらず常に信号振幅の中央に保てるため、信号光強度のレベル変動に強い。このような長所を持つことから、近年では光ATM（非同期転送モード）スイッチ

等のように、光信号を光のまま処理するシステムに対応する送受信方式として実用化が期待されている。

【0003】 図3は従来のDPSK-DD方式の原理図を示している。図3において、31はレーザ光源、32は位相変調器、33は入力された信号をNRZ-Z符号（非ゼロ位相逆転符号）に変換するエンコーダ、34は信号の位相差を読みとって強度変調光に変換するためのマッハツェンダー（以下、MZ）干渉計、35はバランス型受光器を表す。図4は入力信号、NRZ-Z符号化された信号、位相変調信号 ϕ_t 、位相差 $\phi_t - \phi_{t-T}$ 、出力信号を表す。ただしここでtは時間、Tはビットの周期を表す。入力信号（NRZ符号）はNRZ-Zエンコーダ33によってNRZ-Z符号に変換され、位相変調器32においてレーザ光源31から入力されたレーザ光の位相を位相変調信号 ϕ_t のように変調する。この信号がMZ干渉計34で2分岐され、片側の信号光が1ビットの遅延をうけた後、両信号光が干渉するときの信号光の位相差は $\phi_t - \phi_{t-T}$ となる。位相差は3値符号となり、 $\phi_t - \phi_{t-T} = \pi$ 、 $-\pi$ の時はMZ干渉計34の同じ出力ポートに、 $\phi_t - \phi_{t-T} = 0$ の時はもう一つの出力ポートに出力される。これらをバランス型受光器35で受光して差分をとると、出力信号としてNRZ（非ゼロ位相逆転）信号が再生される。このような光通信方式は例えば特開昭63-52530号公報、「コヒーレント光通信用の受信器」にて詳細に説明されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 MZ干渉計は一般的には周波数フィルタとして用いられるが、DPSK-DD方式においては、入力された位相変調光の位相差を2分岐し、その一方を遅延させたのち両光を干渉させることによって位相変調光の位相差を検出する装置、すなわち光遅延回路による位相差検出器として使用される。この際、光源の周波数を、MZ干渉計から出力される強度変調光のオン・オフ比が最大となる最適な周波数に一致させる必要がある。

【0005】 さて、MZ干渉計34の一方の出力における信号振幅強度I(f)は、光源の周波数をf、遅延時間をT、MZ干渉計へ入力する光電場を $E(t) = A \exp[j(2\pi f t + \theta(t))]$ とすると

【0006】

【数1】

$$\begin{aligned}
 I(f) &= \left| \frac{1}{2} E(t) + \frac{1}{2} E(t-T) \right|^2 \\
 &= \frac{1}{2} A^2 \exp[j(2\pi f t + \theta(t))] + \frac{1}{2} A^2 \exp[j(2\pi f (t-T) + \theta(t-T))] \\
 &= A^2 \left\{ 1 - \sin^2 \left[\frac{2\pi f T + \Delta\theta}{2} \right] \right\} \\
 &(\Delta\theta = \theta(t) - \theta(t-T))
 \end{aligned}$$

【0007】と表すことができる。ここで、 A 、 θ はそれぞれ信号光の振幅、位相を示す。この式において、 $\Delta\theta$ が0、 π で変調されている状態に対して出力信号振幅が最大となる周波数は $\pi f T = m\pi$ (m は自然数)となる時である。光源の周波数 f が熱変動等によってドリフトして、MZ干渉計から出力される強度変調光のオン・オフ比が最大となる最適な周波数からずれた場合や、逆にMZ干渉計に熱変動や外圧が加わって光導波路の屈折率が変化し、MZ干渉計の周波数特性がシフトした場合、 $\pi(f_0 + \delta f)T = m\pi + \pi \cdot \delta f \cdot T$ となつてMZ干渉計から出力される信号振幅 $|f|$ が劣化する。ただしここでMZ干渉計から出力される強度変調光のオン・オフ比が最大となる最適な周波数を f_0 とし、この周波数と光源の周波数との差を δf とした。例として信号速度10Gbit/sの通信(1ビット遅延時間は $T=10^{-10}$ 秒)で δf が2GHzの時を考えると、バランス型受光器に入力される信号の振幅は約5.1dB小さくなり、通信品質は著しく劣化する。

【0008】周波数変調特性のシフトの要因で、実際に通信を行う際に最も重要な問題としてMZ干渉計の偏波依存性がある。これはMZ干渉計をプレーナ光波回路(PLC)で作成した場合、PLC基板の応力によってTE波、TM波の実効屈折率に違いが生じることに関因しており、TE波とTM波の周波数特性の違いは数GHzにも及ぶ。MZ干渉計の偏波無依存化は技術的に難しく、また全系を偏波維持系で構成することはコスト面から非常に難しい。

【0009】本発明は上記問題点の解決を図り、MZ干渉計の周波数特性による制限を緩和してDPSK-DDの利点を活用できる光送受信方式を提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1記載の発明は、差動符号化された位相変調光を入力して復調するコヒーレント光通信の送受信方式において、NRZ符号の入力信号を、信号0の場合にはスペースに、信号1の場合には1ビットを2 n 等分(n は自然数)し、等分したはじめの2スロットのうち片方のスロットをマークに、もう一方のスロットをスペースに、残りの2 $n-2$ のスロットも同様の順序でマークとスペースが順番に繰り返すように変換することで符号化するエンコーダと、このエンコーダによって符号化された信号に応じて位相変調された位相変調光を2分岐し、一方の信号光を1/(2 n)ビット遅延させ、両信号を干渉させて強度変調光に変換するマッハツェンダー

干渉計とを備えたことを特徴としている。

【0011】また、請求項2記載の発明は、請求項1に記載の光送受信方式において、 $n=1$ の場合に、前記エンコーダが、NRZ符号の入力信号を、RZ符号に変換するものであり、前記マッハツェンダー干渉計が、前記エンコーダによってRZ符号化された信号に応じて位相変調された位相変調光を2分岐し、一方の信号光を1/2ビット遅延させ、両信号を干渉させて強度変調光に変換するものであることを特徴としている。

【0012】

【発明の実施の形態】まず、本発明のブロック図である図1を参照して本発明の原理について説明する。図1において、11はレーザ光源、12は位相変調器、13はNRZで符号化された入力信号に対し、信号0の場合にはスペース、信号1の場合には1ビットを2 n 等分(n は自然数)し、等分したはじめの2スロットのうち片方のスロットをマークに、もう一方のスロットをスペースに、残りの2 $n-2$ 個のスロットも同様の順序でマークとスペースが順番に繰り返すように変換するエンコーダ、14は、位相変調器12に光伝送手段を介して接続されており、位相変調器12から送られてきた信号の位相差を読みとって強度変調光に変換するためのMZ干渉計、15はバランス型受光器を表す。なお、従来のDPSK-DD方式の場合、MZ干渉計にて1ビット遅延を行い、1ビット隣のビット同士を干渉させることによって強度変調のNRZ符号を再生しているが、本発明では遅延長の短いMZ干渉計を用いて1/(2 n)ビットの遅延を行い、干渉してできた2 n 個の強度変調光を1ビット分としてNRZ信号を再生する。

【0013】DPSK-DD方式において、光周波数のドリフトやMZ干渉計の周波数特性の変化によって発生する光信号振幅の減少量は、光源の周波数とMZ干渉計から出力される強度変調光のオン・オフ比が最大となる最適な周波数との差 δf と、MZ干渉計の遅延時間 T との積によってきまる。

【0014】本方式では、従来の方式と異なり、MZ干渉計において1/(2 n)ビットの遅延を行うため、従来の方式で使用されるMZ干渉計の1/(2 n)倍の時間の遅延を行うMZ干渉計を用いる。ここでMZ干渉計34の一方の出力における信号振幅 $|f|$ は、光源の周波数を f 、遅延時間を T 、MZ干渉計へ入力する光電場を $E(t) = A \exp[j(2\pi f t + \theta(t))]$ とすると

【0015】

【数2】

$$\begin{aligned}
 I(t) &= \left| \frac{1}{2} E(t) + \frac{1}{2} E(t-T) \right|^2 \\
 &= \left| \frac{1}{2} A \exp[j(2\pi f t + \theta(t))] + \frac{1}{2} A \exp[j(2\pi f(t-T) + \theta(t-T))] \right|^2 \\
 &= A^2 \left\{ 1 - \sin \left[\frac{2\pi f T + \Delta\theta}{2} \right] \right\} \\
 &= A^2 \left\{ 1 - \sin \left[\frac{2\pi(f_0 + \delta f)T + \Delta\theta}{2} \right] \right\} \\
 &= A^2 \left\{ 1 - \sin \left[\frac{2(m\pi + \pi\delta f T) + \Delta\theta}{2} \right] \right\} \\
 (\Delta\theta &= \theta(t) - \theta(t-T))
 \end{aligned}$$

【0016】となる。ただし、ここで、A、θはそれぞれ信号光の振幅、位相を示しており、MZ干渉計から出力される強度変調光のオン・オフ比が最大となる最適な周波数を f_0 、 f_0 と光源の周波数との差を δf 、 m を自然数とした。 δf の拡大は光源の周波数ドリフトまたはMZ干渉計の偏波依存性などが原因であるが、この式からわかるように、遅延時間の短いMZ干渉計を適用してTを小さくすることにより、MZ干渉計からの出力信号振幅の減少を抑え、これら原因にもとづく通信品質の劣化を抑制することができる。

【0017】図2は、図1に示す本発明による光送受信方式において、 $n=1$ の場合の実施形態としてのコヒーレント光通信システムの例を示す。図2において、20は本発明に係る送信器、21はレーザ光源、22は位相変調器、23は、NRZで符号化された入力信号を、信号0の場合はスペースを、信号1の場合は1ビットを2等分し、2等分したはじめのスロットをマークに、後のスロットをスペースに変換するエンコーダ、すなわちRZ（ゼロ復帰）エンコーダ、24は光通信網、25は本発明に係る受信器、26は入力信号を分岐し、分岐した片側の信号を1/2ビット遅延し、両信号を干渉させて強度変調光を作り出すMZ干渉計、27はバランス型受光器、28は増幅器、29は低周波フィルタを表す。

【0018】RZエンコーダ23に入力されたNRZ信号はRZ信号に変換され、例えばLiNbO₃によって形成される光導波路からなる位相変調器22を駆動する。位相変調器22はレーザ光源21より入力されたレーザ光をRZ符号に位相変調する。

【0019】位相変調器22により変調された信号光は、光送信機24を介して受信器25に入力される。MZ干渉計26は、入力された信号光を分岐し、分岐した片側の信号を1/2ビット遅延し、両信号を干渉して強度変調光を生成する。変換された強度変調光はマークの場合とスペースの場合にそれぞれMZ干渉計26の異なるポートに出力され、バランス型受光器27で電気信号に変換される。その後増幅器28で増幅され、低周波フィルタ29を通

過することによって波形整形され、NRZ符号として出力される。

【0020】図5は入力信号、RZ符号化された信号、位相変調信号 ϕ_t 、位相差 $\phi_t - \phi_{t-T/2}$ 、出力信号を表す。入力信号（NRZ符号）はRZエンコーダ23によってRZ符号に変換され、信号 ϕ_t のように位相変調を行う。この信号がMZ干渉計26で1/2ビットの遅延をうけた後に干渉したときの位相差は $\phi_t - \phi_{t-T/2}$ となる。位相差は3値符号となり、 $\phi_t - \phi_{t-T/2} = \pi$ 、 $-\pi$ はMZ干渉計26の同じ出力ポートに、 $\phi_t - \phi_{t-T/2} = 0$ はもう一つの出力ポートに出力される。これらをバランス型受光器27で受光して差分をとると、出力信号としてNRZ信号が再生される。

【0021】本方式では、従来方式のように1ビット遅延でなく1/2ビット遅延で干渉させるため、受信器25内部に適用されるMZ干渉計26は、従来方式の場合の1/2倍の遅延時間を与えるMZ干渉計を用いる。光源周波数のドリフトやMZ干渉計の周波数特性の変化によって発生する信号振幅の減少量は、光源の周波数とMZ干渉計から出力される強度変調光のオン・オフ比が最大となる最適な周波数との差 δf 、およびMZ干渉計の遅延時間Tの積によってきまるため、Tを1/2倍することによって δf の許容範囲を2倍にすることができる。したがって周波数軸上での精度に関する耐力が大きく、すなわち光源の周波数揺らぎや、MZ干渉計の偏波依存性による周波数透過特性の変化に強く、なる。このため従来方式に比べて、光源の周波数揺らぎや、MZ干渉計の偏波依存性等による周波数透過特性の変化に強く、受信時の符号誤りが発生しにくい。

【0022】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、従来のDPSK-DQ方式で問題となっている光源の周波数揺らぎやMZ干渉計の周波数透過特性のシフトにより発生する受信特性の劣化を軽減することができる。これまではDPSK-DQ方式を実現する際には、MZ干渉計の偏波依存性を原因として発生する周波数特性のシ

フトのために、MZ干渉計の偏波無依存化や、全系を偏波維持系で構成する等の方案が考案されてきたが、本発明を適用することによりMZ干渉計の周波数特性による制限を緩和することが可能であり、前述のような方案を使わなくともDPSK-DDの利点を活用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の原理ブロック図である。

【図2】 本発明を用いたコヒーレント光通信システムの例を示す図である。

【図3】 従来のDPSK-DD方式における送受信器の原理図である。

【図4】 従来のDPSK-DD方式の符号化を示す図である。

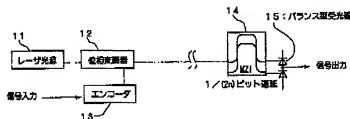
【図5】 本方式の実施例における符号化を示す図であ

る。

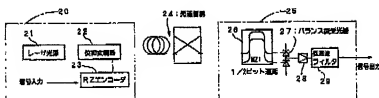
【符号の説明】

- 11, 21 レーザ光源
- 12, 22 位相変調器
- 13 エンコーダ
- 14 MZ干渉計 ($1/(2n)$ ビット遅延)
- 15 バランス型受光器
- 20 送信器
- 23 RZエンコーダ
- 24 光通信網
- 25 受信器
- 26 MZ干渉計 ($1/2$ ビット遅延)
- 27 バランス型受光器
- 28 増幅器
- 29 低周波フィルタ

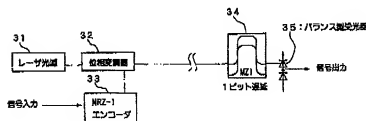
【図1】



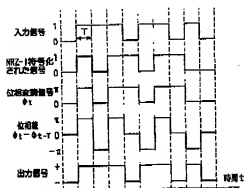
【図2】



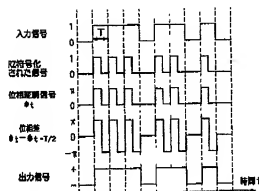
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F 1

H 0 4 L 27/22